

MÉTODO PARA MEDIR DEFLEXIONES MEDIANTE UN DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO LIVIANO (LWD) EN SUELOS

INV E 826 – 22

1 OBJETO

- 1.1** Este método de ensayo cubre la determinación de deflexiones de superficies pavimentadas y no pavimentadas con un deflectómetro de impacto liviano (LWD). El LWD es liviano, portátil y generalmente se usa para ensayar capas de pavimento no ligadas. Las deflexiones medidas usando un LWD se pueden usar para determinar la rigidez de las superficies de pavimento ligadas y no ligadas mediante la aplicación de técnicas apropiadas de cálculo directo o retro cálculo.
- 1.2** Esta norma no pretende abordar todas las consideraciones de seguridad, eventualmente asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad, salud y cuidado del medio ambiente, así como determinar la aplicabilidad de esta tecnología antes de su uso.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Este método de ensayo consiste en un tipo de prueba de placa de carga. La carga corresponde a un pulso de fuerza producido por la caída de una masa sobre un sistema de amortiguación, la cual a su vez es transmitida al suelo mediante una placa directamente apoyada en la superficie a evaluar. El equipo de ensayo puede ser manual o transportado mediante una plataforma de empuje.

La masa es levantada hasta una altura tal que, al dejarla caer, transmitirá el pulso de fuerza deseado. Una vez se ha dejado caer la masa, se mide el movimiento vertical resultante o la deflexión superficial utilizando una instrumentación adecuada. Se pueden realizar múltiples pruebas con la misma altura de caída (opcionalmente se pueden variar las alturas) en la misma ubicación.

En cada ubicación, la deflexión máxima resultante del pulso de fuerza se registra en micrómetros o milímetros, según sea apropiado.

La fuerza máxima transmitida por la masa que cae se registra como la fuerza en kN, o como el esfuerzo medio (la fuerza dividida por el área de la placa de carga) en kN/m² (kPa).

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Este método se usa para la determinación de las deflexiones superficiales resultantes de la aplicación de un pulso de carga. Estas deflexiones se miden en el centro del área de la carga aplicada, así como también en varios puntos distantes de la carga de acuerdo con la configuración particular del equipo.

Las deflexiones pueden ser correlacionadas directamente con el comportamiento de la estructura pavimento o ser utilizadas para determinar *in situ* las características de los materiales que componen las capas del pavimento.

Algunos posibles usos de los datos incluyen el control de calidad de las capas compactadas, la evaluación estructural de la capacidad de carga y la determinación de los requisitos de espesor para los pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje (ver ASTM D 4695).

Nota 1: El volumen de los materiales de pavimento y subrasante afectados por la carga depende de su magnitud. Por lo tanto, se debe tener cuidado al analizar los resultados, ya que los datos obtenidos mediante el LWD pueden corresponder a un volumen inferior de materiales no ligados que actúa como capa de soporte del estrato valorado.

4 EQUIPO

Sistema de instrumentos, de acuerdo con los siguientes requisitos generales:

- 4.1** *Instrumentos expuestos a la intemperie* - Deben funcionar dentro de un rango de temperaturas entre -10 y 50 °C, así como tolerar una humedad relativamente alta, incluyendo lluvia o rocío, y todas las demás condiciones adversas de común ocurrencia, tales como polvo, golpes o vibraciones.
- 4.2** *Dispositivo generador de fuerza* – Corresponde a una masa que cae con su respectivo sistema de guía. Este dispositivo deberá permitir ser elevado hasta una altura predeterminada para luego dejarlo caer. El pulso de fuerza resultante transmitido al pavimento deberá ser capaz de proporcionar un patrón de carga cuya forma corresponde a un semiseno (porción positiva de la curva definida por la función trigonométrica seno) o a un medio seno verso $[(1 - \cos \theta) / 2]$, con un tiempo de carga entre 20 y 40 ms y deberá ser reproducible dentro de los requisitos del numeral 6.1.
- 4.3** *Masa de caída* - Diseñada para operar con niveles despreciables de fricción o resistencia a la caída libre.

- 4.4** *Placa de carga* - Capaz de distribuir el pulso de cara de una forma aproximadamente uniforme a la superficie. El instrumento deberá estar construido de tal forma que permita realizar mediciones de deflexión del pavimento en el centro del punto de impacto, a través de un orificio en el centro de la placa de carga.
- 4.5** *Sensor(es) de desplazamiento* - Capaces de medir el máximo desplazamiento vertical. Deben estar instalados de tal forma en que se minimice la rotación angular con respecto a su plano de medición en el movimiento máximo esperado. El número y espaciado de los sensores es opcional y dependerá del propósito de la prueba y las características de la capa del pavimento. Los sensores pueden ser de varios tipos, como transductores de desplazamiento, de velocidad o acelerómetros.
- 4.6** *Sistema de procesamiento y almacenamiento de datos* —Los datos de carga y deflexión deben poder ser visualizados y almacenados. La información adicional, como la temperatura del aire, la temperatura de la superficie, las distancias entre puntos de medición y los datos de identificación para cada punto de prueba, se podrá registrar de forma automática o manual.
- 4.7** *Celda de carga* – Se utilizará una celda de carga para medir la fuerza aplicada en cada impacto. Debe estar instalada en una posición que minimice la masa entre ella y la superficie. La celda de carga debe estar colocada de tal manera que no restrinja la capacidad de obtener mediciones de deflexión debajo del centro de la placa de carga. La celda de carga deberá ser resistente al agua, así como ser resistente a choques mecánicos por impactos durante la prueba o el traslado del equipo.

5 SEGURIDAD

- 5.1** El equipo de ensayo y todos los equipos e instrumental que lo complementan, deben cumplir la legislación vigente. Se deben tomar precauciones más allá de las que impone la ley para garantizar la máxima seguridad de los operarios y de los usuarios de la vía.

6 CALIBRACIÓN

- 6.1** *Dispositivo generador de fuerza* - Antes de calibrar el sensor de carga y de deflexión, se debe pre acondicionar el dispositivo dejando caer la masa por lo menos cinco veces y verificando la diferencia relativa en cada pico de carga. Las cargas medidas no deben variar una de otra en más de 3%. Si las variaciones exceden esta tolerancia, se deben verificar la altura de caída y la limpieza de la guía, así como el estado de los resortes o almohadillas de caucho que se usen para acondicionar la carga.

Las piezas que no funcionen adecuadamente se deben reemplazar o reparar antes de la calibración, para minimizar las fuerzas horizontales y de corte.

- 6.2 *Plataforma de calibración de carga* — Teniendo en cuenta que diversos dispositivos de este tipo están disponibles en el mercado, se deben seguir las recomendaciones del fabricante para su proceso y frecuencia de calibración.
- 6.3 *Sensores de deflexión* — Se deben calibrar por lo menos una vez al año o de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, adoptando como criterio de decisión la mayor frecuencia de estas dos consideraciones.

7 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL Y DEL SISTEMA DE REGISTRO

- 7.1 Todos los equipos de registro y acondicionamiento de señales deberán permitir que las mediciones de deflexión se muestren y almacenen con una resolución de $\pm 1 \mu\text{m}$ o menos.
- 7.2 Las mediciones de carga máxima y deflexión se deberán registrar dentro de un período o ventana de medición de 60 ms o mayor, sin dejar de cumplir los requisitos de precisión y sesgo de esta norma.
- 7.3 Las mediciones de carga máxima se deben mostrar y almacenar con una resolución de $\pm 0,1 \text{ kN}$ o menos, o una cantidad equivalente si la carga se expresa como esfuerzo medio según el radio de la placa.

8 PROCEDIMIENTO PARA UNA MEDICIÓN

- 8.1 Se posiciona el instrumento sobre el sitio de ensayo. La superficie debe estar tan limpia y lisa como sea posible, cuidando de remover partículas sueltas y materiales que sobresalgan. Para superficies de grava, se recomienda colocar una delgada capa de arena fina sobre el punto de prueba, esto ayudará a obtener un contacto uniforme entre la placa de carga y la superficie. Se puede utilizar una almohadilla de caucho para mejorar la distribución de la carga.
- 8.2 Se ubican la placa de carga y los sensores para asegurarse que se encuentren apoyados sobre una superficie de prueba firme y estable.
- 8.3 Se eleva la masa a la altura deseada y posteriormente se deja caer libremente.
- 8.4 Se registra(n) la(s) deflexión(es) superficial(es) máxima(s) resultante(s) y la correspondiente carga máxima.

- 8.5** Se realizan por lo menos dos secuencias de caída de la masa (tal como se indica en el numeral 8.3) y se comparan los resultados. Si la diferencia es mayor que ± 3 % para cualquier sensor, registre dicha variabilidad en el informe. Se pueden realizar pruebas adicionales con el mismo nivel de carga o también con niveles distintos.

9 INFORME

- 9.1** Para efectos del informe, se debe considerar como locación a un tramo o sector de una vía donde se realizan las actividades, en el caso en que las mismas se desarrollen durante un período del día con condiciones climáticas estables. En el informe de campo se deben considerar nuevas locaciones en los siguientes casos:
- 9.1.1** Cuando haya cambio de las condiciones climáticas (lluvia, descenso súbito de temperatura, puesta o salida del sol).
 - 9.1.2** Cuando se realicen mediciones en vías de acceso, o en general, cuando se obtenga información de vías distintas a la que se está evaluando.
 - 9.1.3** Al finalizar la jornada de trabajo.
- 9.2** En cada locación se debe registrar la siguiente información:
- 9.2.1** Información de la sección – Debe incluir la siguiente información: (1) identificación y localización de la vía sobre la que se realizó el trabajo; (2) tipo de pavimento evaluado.
 - 9.2.2** Fecha y hora de las pruebas.
 - 9.2.3** Condiciones climáticas.
 - 9.2.4** Temperatura del aire y del pavimento.
 - 9.2.5** Identificación del operador.
 - 9.2.6** Especificaciones del equipo: Marca, año de fabricación.
- 9.3** En cada punto de ensayo, se debe incluir la siguiente información:
- 9.3.1** Abscisa del punto.
 - 9.3.2** Carril ensayado.

- 9.3.3** Distancia perpendicular medida a partir del eje de la vía. En los casos en que no sea de fácil identificación el eje de la vía, se deben tomar las distancias a partir de una referencia de fácil comprensión, la cual puede ser un borde, una cuneta, el borde de un andén, etc. Siempre se debe dejar registro de cuál es la referencia para estas mediciones.
 - 9.3.4** Número de determinación para el punto de ensayo.
 - 9.3.5** Carga aplicada y deflexión medida correspondiente, tanto para la etapa de pre acondicionamiento (numeral 6.1) como en el ensayo (numeral 8). Deben quedar diferenciadas las lecturas de una etapa de la otra.
 - 9.3.6** Diferencia máxima relativa existente entre dos lecturas de carga, según lo establecen los numerales 6.1 y 8.5, para la respectiva etapa.
 - 9.3.7** Si se dispone de información acerca de los espesores del pavimento existente, o del espesor total de la estructura, se debe reportar.
- 9.4** Con el informe, se debe entregar copia de los certificados de la última calibración realizada a los sensores de desplazamiento y celda de carga.
- 9.5** Para la determinación del Módulo de Elasticidad equivalente producto de las mediciones relacionadas, se deben suministrar las variables adicionales requeridas para su cálculo. Para su obtención se puede recurrir a uno de los siguientes procedimientos, o ambos si así se desea. En ningún caso se podrán aceptar parámetros presentados por el equipo, sin contar con la información necesaria para reproducir los cálculos:
- 9.5.1** Mediante las ecuaciones o modelos recomendados por el fabricante del equipo.
 - 9.5.2** Mediante procedimientos de retrocálculo, utilizando modelos elásticos lineales. La norma ASTM D5858 presenta información útil para el desarrollo del procedimiento.
- 9.6** La determinación de cualquier otro parámetro de suelo evaluado o relacionado con el proceso constructivo debe estar acompañado del respectivo procedimiento de calibración para el suelo evaluado, no siendo admitidas correlaciones obtenidas con otros materiales o con equipos distintos al que se está usando.

10 PRECISIÓN Y SESGO

- 10.1** *Precisión del equipo* — El rango requerido para los sensores de desplazamiento es de $\pm 2 \mu\text{m}$. Para la celda de carga, la precisión mínima debe ser de $\pm 0,1 \text{ kN}$ o mayor.
- 10.2** *Sesgo del equipo* – El valor requerido tanto para los sensores de desplazamiento como para la celda de carga debe ser de $\pm 2\%$ o mayor.
- 10.3** *Reproducibilidad entre equipos y para un mismo punto de prueba* – Para un mismo operador, el coeficiente de variación del método de prueba para el mismo equipo bajo condiciones de campo típicas es de 10 a 20 % para suelos GM/GC/GP, del 15 a 35 % para suelos SW/SM/SP y de 40 a 60 % para suelos ML/CL (según se establece en la norma INV E-181). Con relación a la reproducibilidad entre equipos, a la fecha no se ha establecido ningún criterio.

11 REFERENCIA

ASTM E 2583 – 07